

**日本経営システム学会
イノベーション指向データ分析 研究部会
2017 年度第 2 回研究会 講演論文集**



開催日 : 2018 年 2 月 28 日 (金)

開催場所 : 広島工業大学五日市キャンパス

〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1 新 4 号館 2 階 211 号室

<http://www.it-hiroshima.ac.jp/about/access/itsukaichi/campus.html>

参加費 : 無料

プログラム

第 1 部

10:00-11:00 基調講演(講演 50 分, 質疑 10 分)

講師： 高須正和氏 (スイッチサイエンス)

題目： ハードウェアのシリコンバレー 深センのエコシステム

概要: 3D プリンター, Arduino などのオープンソースハードウェアの登場, インターネットの進展により, 小ロットでの製造, クラウドファンディングによる資金調達など個人や小規模チームでも製品開発が行える時代になっています。そういったなかで, 世界中から注目されている都市が, 中国の深センです。「深センでの1週間はシリコンバレーの1カ月に匹敵する」「ハードウェアのシリコンバレー」「人類史上最速で成長する都市」といわれています。このたび, 深セン在住で世界的な DIY イベントの「メイカーフェア深セン」の運営に関わる高須正和氏をお招きし, 深センのリアルな情報・ハードウェアスタートアップの現状, 21 世紀のイノベーションなどについて語っていただきます。また, シリコンバレー・深セン拠点のアクセサレーターHAX などのスタートアップ支援についてもお話しいただけます。

第 2 部

13:00-13:05 開催挨拶

松本慎平 (研究部会主査, 広島工業大学)

13:05-14:00 基調講演(講演 45 分, 質疑 10 分)

講師：平岡諒也氏(広島工業大学) pp.1-6

題目：ソフトウェア開発を想定したスケジューリングにおける納期ずれ和最小化に有効なディスパッチングルールに関する研究

著者：平岡諒也, 加藤浩介, 垣内洋介, 松本慎平, 山岸秀一

概要：研究では, チームによるソフトウェア開発に焦点を当てる. 一つのソフトウェアを関数・クラス単位のモジュールに分割し, 一つのモジュールを開発チームの一名が担当する状況を想定する. ここで, ソフトウェアごとのモジュールの作成順序が任意であり, 同時に作成することができるソフトウェアのモジュールが一つするとき, このスケジューリング問題はオープンショップスケジューリング問題(OSSP)と等価となる. 本研究では, 納期ずれ和の最小化を目的とした OSSP に対して有効なディスパッチングルールを検討し, 更に制約条件を緩和した OSSP に対しても同様に検討する.

研究発表会(発表 10 分, 質疑 5 分)

14:10-15:10 セッション 1 : バーチャルリアリティ

座長 : 加藤浩介 (広島工業大学)

発表者: 14:10-14:25 樋口幹紘(広島工業大学) pp.7-9

題目: 身体表現による無人航空機操作の研究

著者: 樋口幹紘, 山崎琢洋, 山岸秀一

発表者: 14:25-14:40 遠山祥平(広島工業大学) pp.10-11

題目: 自転車運動のための VR エクササイズシステムの開発

著者: 遠山祥平, 中村武尊, 徳安達士

発表者: 14:40-14:55 高橋朋紀(広島工業大学) pp.12-14

題目: コードレス HMD を用いた没入的観光アプリケーションの開発

著者: 高橋朋紀, 井ノ本裕之, 山岸秀一

発表者: 14:55-15:10 沖川結人(広島工業大学) pp.15-17

題目: VR 技術を用いた体験型災害避難訓練システムの研究・開発

著者: 沖川結人, 山岸秀一

研究発表会(発表 10 分, 質疑 5 分)

15:20-16:20 セッション 2 : 情報システム

座長 : 加藤浩介 (広島工業大学)

発表者: 15:20-15:35 上松智史(広島工業大学) pp.18-19

題目: 地域の商業の活性化を目的とした Web サイト改善に関する研究

著者: 上松智史, 大杉将輝, 松本慎平, 山岸秀一

発表者: 15:35-15:50 岡本崇寛(広島工業大学) pp.20-22

題目: 360 度パノラマ動画像の複数人での視聴方法の研究

著者: 岡本崇寛, 谷口拓海, 山岸秀一

発表者: 15:50-16:05 関涼佑(広島工業大学) pp.23-24

題目: 対話型 bot を用いた大学生のコーチングに関する研究

著者: 関涼佑, 木野本敦士, 松本慎平, 佐々木宏

発表者: 16:05-16:20 平野拓真(広島工業大学) pp.25-26

題目: ソースコード読解学習のための視線分析に関する研究

著者: 平野拓真, 伊豆田夏帆, 松本慎平, 花房亮, 林雄介, 平嶋宗

16:20-16:25 閉会挨拶

松本慎平(研究部会主査, 広島工業大学)

ソフトウェア開発を想定したスケジューリングにおける 納期ずれ和最小化に有効なディスパッチングルールに関する研究

広島工業大学情報学部 平岡諒也, 加藤浩介, 垣内洋介, 松本慎平, 山岸秀一

Research on Efficient Dispatching Rules for Minimizing the Sum of Difference from Duedate in Scheduling for Software Development

Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology

Ryoya Hiraoka, Kosuke Kato, Yosuke Kakiuchi, Shimpei Matsumoto, Shuichi Yamagishi

1 はじめに

ソフトウェア開発において、顧客と取り決めた納期を守ることができない場合、契約違反となり、顧客からの信用を損ねるだけでなく、損害賠償を請求される可能性がある。そのため、開発チームとそれに所属するメンバ個人のスケジュールを管理することは重要である。本研究では、チームによるソフトウェア開発における開発メンバのスケジュールの自動生成・管理に焦点を当てる。現状、多くのスケジューラソフトが存在するが、個人ごとのスケジュール管理や、繰り返し習慣のためのスケジュール管理といった個人ベースのものが多く、実際のスケジュールを手動で入力するなどといった機能がほとんどで、開発チームを対象にスケジュールを自動で生成し管理する機能を持つものは見当たらない。そこで、本研究では開発チームのスケジュールを自動で生成し、管理する機能を持つスケジューラの開発を目指す。

2 ソフトウェア開発におけるスケジューリング

ソフトウェア開発現場において次のような状況を考える。開発チームはソフトウェアにおけるコーディングを行い、複数個のソフトウェア製作に携わる。コーディングは関数またはクラス単位で分割されたモジュールに分割され、各モジュールについて開発チームに所属するメンバ1名が固定して行うものとする。この状況から次のような制約を仮定する。各ソフトウェアのモジュールの作

成順序は任意（制約条件①）とし、同時に1つのモジュールしか担当できない（制約条件②）。各メンバは同時に1つのモジュールしか作成しない（制約条件③）。いったんあるモジュールを作成すると、完了するまでそのモジュールを作成するものとする（制約条件④）。以上の制約条件を仮定したとき、開始時刻を0として、全モジュールの作成完了時刻を最早（メイクスパンを最小）とするスケジュールを求めることを考える。ここで、ソフトウェアを仕事、担当メンバを機械、モジュールを作業として考えると、この問題はオープンショップスケジューリング問題(Open Shop Scheduling Problem, OSSP)と等価である[1]。

ソフトウェアが n 個、開発メンバの人数が m 人のとき、開発メンバ R_i ($i = 1, 2, \dots, m$) が担当するソフトウェア J_j ($j = 1, 2, \dots, n$) のモジュールを $M_{j,i}$ としたとき、モジュール $M_{j,i}$ の作成に要する時間を $p_{j,i}$ 、作成に着手した時刻を $s_{j,i}$ とする。表1に文献[3]に掲載されている $n=4, m=4$ の OSSP のベンチマーク問題に対する作業時間 $p_{j,i}$ を示す。

表 1 作業時間 $\{p_{j,i}\}$ の例

	R_1	R_2	R_3	R_4
J_1	34 ($=p_{1,1}$)	2 ($=p_{1,2}$)	54 ($=p_{1,3}$)	61 ($=p_{1,4}$)
J_2	15 ($=p_{2,1}$)	89 ($=p_{2,2}$)	70 ($=p_{2,3}$)	9 ($=p_{2,4}$)
J_3	38 ($=p_{3,1}$)	19 ($=p_{3,2}$)	28 ($=p_{3,3}$)	87 ($=p_{3,4}$)
J_4	95 ($=p_{4,1}$)	7 ($=p_{4,2}$)	34 ($=p_{4,3}$)	29 ($=p_{4,4}$)

スケジューリング問題の解は図1のようなガントチャート（作業計画表）であり、スケジューリング問題を解くことは何らかの基準で最適解

(ガントチャート) を得ることである。

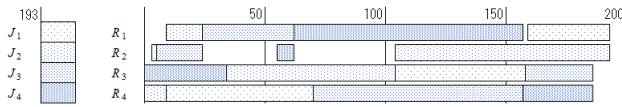


図 1 ガントチャート (作業計画表)

図 1 のようなガントチャートはソフトウェア J_j の開発メンバ R_i が担当するモジュール $M_{j,i}$ の作業の順序配列 $A=(A_1, A_2, \dots, A_k, \dots, A_{nm}), A_k \in \{M_{j,i} \mid j=1, 2, \dots, n, i=1, 2, \dots, m\}$ が与えられれば生成することができる。OSSP は全ソフトウェアの製作完了時刻が最早となるガントチャートを生成する組合せ最適化問題であると考えることができる。このとき、ソフトウェア J_j の製作完了時刻 C_j は次の式で与えられる。

$$C_j = \max_{i=1, 2, \dots, m} \{s_{j,i} + p_{j,i}\}$$

ところで、ソフトウェア開発においては、完了時刻の最早化をいつも目指すとは限らず、ソフトウェアごとに設定された納期に対して納期からの遅れや納期とのずれの最小化を目指す場合も多い。いま、ソフトウェア J_j に対して設定された納期を d_j で表すと、ソフトウェア J_j の納期 d_j に対する納期ずれ G_j は次の式で与えられる。

$$G_j = |C_j - d_j|$$

また、納期ずれ和 G_{sum} は次の式で与えられる。

$$G_{\text{sum}} = \sum_{j=1}^n G_j$$

本研究では、 G_{sum} の最小化を目指す納期ずれ和最小化 OSSP について考える。

従来研究として、佐々木[1]は、OSSP に対して現実のソフトウェア開発状況における柔軟性、拡張性を考慮して Satisfiability Modulo Theories (SMT) に基づいた定式化を行い、SMT ソルバー Yices を用いて求解する手法を提案した。しかし、この手法は厳密最適解を求めるものであり、問題規模が大きくなるにつれて計算時間が急激に増加する問題点があった。また、この手法を商用ソフトウェ

アに導入するには、Yices のライセンスに関する問題にも対処が必要となる。ところで、実用においては、長い時間をかけて厳密最適解を得るよりも短い時間で近似最適解を得ることが求められる場合も多い[2]。その場合、実用的な時間内に高品質な近似最適解を得ることが重要となる。

このような状況の下で、本研究では、近似最適解を求解するソフトウェアに実装することができるアルゴリズムを開発する。アルゴリズムは実装が容易で効率よく最適解を探索することができる遺伝的アルゴリズムを中心とする。

最も一般的なメイクスパン最小化 OSSP では、モジュール間の遊休時間をできるだけ少ないスケジューリングを考えれば求めることができる。ところで、納期ずれ和最小化 OSSP では、納期より早く終了しても、遅く終了しても、同じ納期ずれ時間と扱うことになる。メイクスパン最小化 OSSP では、最適値スケジューリングを考えるにはモジュール間の遊休時間をできるだけ少ないスケジューリングを考えれば求めることができる。しかし、納期は必ずしも早い時刻に設定されているとは限らないため、適切な開始時期にモジュールを開始するようなスケジューリングを考えなければならない。

3 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm)は 1970 年代に J.H. Holland らにより考案された、生物の進化を参考にした発見的解法のうちの進化的計算手法の一つである。最適化問題の解を個体(染色体、遺伝子配列)と対応づけて、染色体に対して交叉(Crossover)・突然変異(Mutation)といった遺伝的操作を行うことで、個体を進化させて最適解に対応する個体を探索する手法である。最大世代数を t_{Max} としたとき、遺伝的アルゴリズムの基本的な流れは、図 2 の通りとなる。

遺伝的アルゴリズムは、広域的な探索が得意である反面、局所的・集中的な探索が不得意である。岩瀬[4]は納期が異なるフローショップスケジューリング問題に対し、遺伝的アルゴリズムと局所

探索法を併用した手法を提案し、その有効性を示している。本研究では、岩瀬の手法を参考にして、納期ずれ和最小化 OSSP に対して遺伝的アルゴリズムと局所探索を併用する解法を提案する。

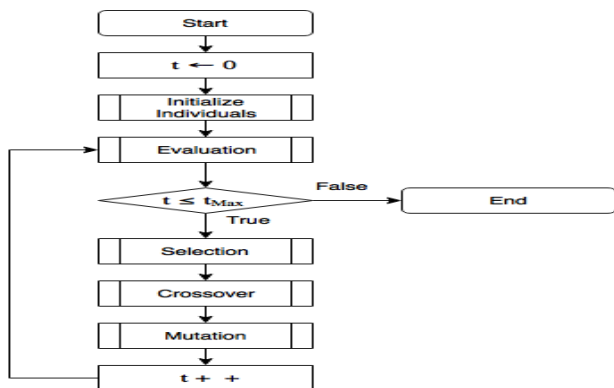


図 2 遺伝的アルゴリズムの流れ

ここで、提案解法においては、個体（染色体）表現として、作業順序配列 $A = (A_1, A_2, \dots, A_k, \dots, A_{nm})$, $A_k \in \{M_{j,i} \mid j=1, 2, \dots, n, i=1, 2, \dots, m\}$ を用いている。また、適合度は、納期ずれ和 G_{sum} に基づいて算出する。遺伝的操作に関しては、交叉は部分一致交叉(Partially Matched Crossover)を採用し、突然変異は二点交換(swap)を採用する。

局所探索においては、個体（染色体） A に対して、ソフトウェア J_j を基準とした近傍解及び担当メンバ R_i を基準とした近傍解を生成する。ソフトウェア J_j を基準とした近傍解生成においては、乱数 $u \in \{1 \leq u \leq m\}$ を生成し、ソフトウェア J_j に関して u 番目に取り組みモジュールと $u-1$ 番目に取り組みモジュールを交換する。ただし、 $u=1$ のときはソフトウェア J_j の最初に取り組みモジュールと最後に取り組みモジュールを交換する。一方、担当メンバ R_i を基準とした近傍解生成においては、乱数 $u \in \{1 \leq u \leq n\}$ を生成し、担当メンバ R_i が u 番目に取り組みモジュールと $u-1$ 番目に取り組みモジュールを交換する。ただし、 $u=1$ のときは担当メンバ R_i が最初に取り組みモジュールと最後に取り組みモジュールを交換する。本研究では、1つの染色体に対して2種類の近傍解を $N_{nei} / (2N_{pop})$ 個ずつ生成する。なお、 N_{pop} は遺伝子操作を行う染色体の数、 N_{nei} は近傍

解を生成する染色体の数を表す。この操作により次世代に生存させる染色体の候補は $N_{nei} + N_{pop}$ 個となるため、適合度の高い順に N_{pop} 個の染色体を生き残らせる。

4 ディスパッチングルール

個体（染色体）を評価する際、作業順序配列を表す個体（染色体）からガントチャートを生成し、納期ずれ和を算出することになる。この作業順序配列からガントチャートを生成する際、各作業をどの時刻に開始するかを決定する必要がある。この作業順序の決定規則をディスパッチングルール (Dispatching Rule) という。先着順ルール (First In First Out, FIFO), 最早納期ルール (Earliest Due Date, EDD), 最小納期余裕ルール (SLACK) などが代表的なディスパッチングルールである。適用するディスパッチングルールにより生成されるガントチャートは異なってくる。本研究では、複数のディスパッチングルールを比較し、納期ずれ和最小化 OSSP に対する遺伝的アルゴリズムを用いた提案解法における有効性を検討する。

上述した FIFO, EDD, SLACK などは代表的なディスパッチングルールであるが、メイクスパン最小化問題に対して適用することが想定されており、基本的に時刻 0 から開始してできるだけ早い時刻での完了を目指すことになるため、納期ずれの意味で必ずしもよいスケジュールが求められるとは限らない。本研究では、作業順序配列 A における作業順序で後方の作業から納期から逆算して決定していき、できるだけ納期に近い時間帯に作業を行うことを目指すルールとして後着順ルール (Last In First Out, LIFO) と最遅完了優先ルール (Latest Completion, LC) を提案するとともに、FIFO, EDD, SLACK と比較し、その有用性を検証する。

LIFO は作業順序配列 A の後方のモジュールから順に納期にできるだけ近い完了時刻となるように開始時刻を決定していくルールである。全モジュールの開始時刻が決定され、ガントチャートが完成した際に、最早モジュールの作業開始時刻が

時刻 0 より前になる場合がある。この場合は最早モジュールの作業開始時刻が時刻 0 になるように全モジュールの作業開始時刻を遅らせてガントチャートを修正する。LIFO の手順を以下に示す。

- [Step 1] $l \leftarrow mn$ とする。
- [Step 2] 開発メンバ R_i の全割り当てモジュールの完了時刻 T_i をすべて設定した納期の最大値とする。ソフトウェア J_j の全モジュールの作業完了時刻 C_j を納期 d_j に設定する。
- [Step 3] モジュール A_l の担当メンバが i^* , ソフトウェアが j^* であるとき、モジュール A_l の完了時刻を C_j^* と T_i^* の小さい方の値とする。
- [Step 4] モジュール A_l をスケジュールし、 C_j^* と T_i^* をそれぞれモジュール A_l の完了時刻と作業時間を減算した値とする。
- [Step 5] $l > 1$ ならば、 $l \leftarrow l - 1$ として Step3 へ戻る。 $l = 1$ ならば終了する。

LC は作業順序配列 A 中のソフトウェアごとのモジュールの作業順序にしたがってスケジュールする際、各モジュールの作業完了時刻が最も遅いモジュールを優先してスケジュールするルールである。LIFO と同様に最早モジュールの作業開始時刻が時刻 0 より前になる場合、最早モジュールの作業開始時刻が時刻 0 になるように全モジュールの作業開始時刻を遅らせてガントチャートを修正する。LC の手順を以下に示す。

- [Step 1] $l \leftarrow 1$ とする。
- [Step 2] 開発メンバ R_i の全割り当てモジュールの完了時刻を T_i をすべて、納期の最大値とする。ソフトウェア J_j の全モジュールの作業完了時刻 C_j を納期 d_j に設定する。
- [Step 3] 作業順序配列 A について、ソフトウェア J_j の最後の未スケジュールモジュールの中で作業を完了することができる時刻が最遅のモジュールを探索する。モジュール $M_{j,i}$ について作業を完了する時刻は、

時刻 C_j と T_i の最小値である。同値のモジュールがある場合は、作業順序配列 A について最後方にあるモジュールを優先する。

- [Step 4] 最遅モジュール A_{latest} をスケジュールし、 A_{latest} の担当メンバが i^* , ソフトウェアが j^* であるとき、 C_j^* と T_i^* をそれぞれモジュール A_{latest} の完了時刻と作業時間を減算した値とする。
- [Step 5] $l < mn$ ならば、 $l \leftarrow l + 1$ として Step 3 へ戻る。 $l = mn$ ならば終了する。

5 計算機実験

ここでは、3 節で提案した遺伝的アルゴリズムと局所探索に基づく解法、及び、4 節で提案したディスパッチングルール LIFO と LC の有効性を検証するための計算機実験を行う。問題としては、規模が $n = 4, m = 4$ のベンチマーク問題（作業時間は表 1）を使用する。この問題に対して、納期を 4 パターン設定し、それぞれに FIFO, SLACK, EDD, LIFO, LC のディスパッチングルールを用いた提案解法を適用し、それらの結果を比較する。提案解法におけるパラメータの値は、 $N_{pop} = 100$, $N_{nei} = 2000$, 最大世代数 150, 交叉率 0.8, 突然変異率 0.05 としている。本研究で設定した納期は表 2 の通りである。

表 2 本研究で検証する納期

	Case1	Case2	Case3	Case4
d_1	151	210	170	500
d_2	183	190	425	190
d_3	172	180	340	230
d_4	165	200	255	210

表 2 の中の Case1 の d_j はソフトウェア J_j の全モジュールの作業時間の総和、すなわち、ソフトウェア J_j の作業完了時刻の下限值に設定される場合を想定している。Case2 は、本問題の最早完了時刻（最小メイクスパン）193 に比較的近い時期に納期が集中している場合を想定している。Case3 は、ソフトウェアの納期が比較的長い間隔で等間隔に設定される場合を想定している。Case4 は、一つのソフトウェアだけ極端に離れた納期が設定さ

れる場合を想定している。これらの4ケースの問題に対して、ディスパッチングルールが異なる提案解法を適用する。

Case1~4 の問題に対する提案解法の適用結果を表3~6に示すとともに、そのときの最良ガントチャートを図3~6に示す。

表 3 Case1 適用結果

	最良 納期 ずれ和	最大 納期 ずれ	最小 納期 ずれ	計算 時間 [sec]
FIFO	41	27	0	12.69
EDD	251	112	0	13.01
SLACK	73	38	2	15.75
LIFO	65	23	2	12.96
LC	73	23	8	15.49

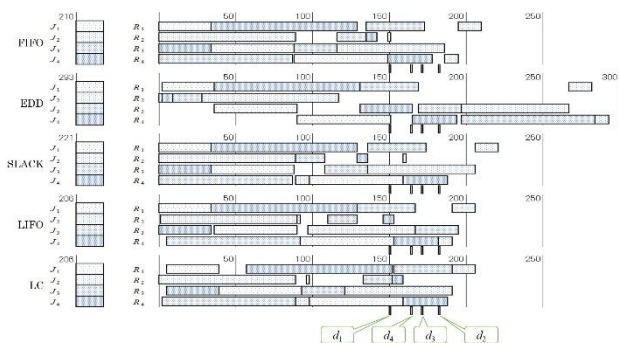


図 3 Case1 の最良ガントチャート

表 3 Case2 適用結果

	最良 納期 ずれ和	最大 納期 ずれ	最小 納期 ずれ	計算 時間 [sec]
FIFO	6	4	0	12.76
EDD	206	114	8	13.10
SLACK	44	24	1	16.19
LIFO	9	3	2	12.96
LC	4	1	1	15.50

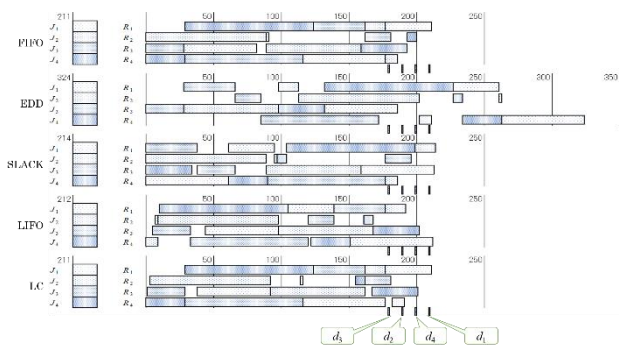


図 3 Case2 の最良ガントチャート

表 5 Case3 適用結果

	最良 納期 ずれ和	最大 納期 ずれ	最小 納期 ずれ	計算 時間 [sec]
FIFO	3	2	0	12.57
EDD	25	19	0	13.21
SLACK	25	12	3	16.15
LIFO	0	0	0	12.52
LC	0	0	0	13.37

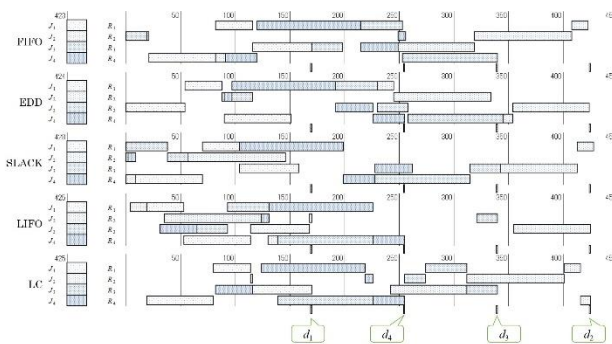


図 4 Case3 の最良ガントチャート

表 6 Case4 適用結果

	最良 納期 ずれ和	最大 納期 ずれ	最小 納期 ずれ	計算 時間 [sec]
FIFO	120	109	0	12.57
EDD	128	116	2	13.33
SLACK	132	99	4	16.15
LIFO	0	0	0	12.76
LC	0	0	0	14.53

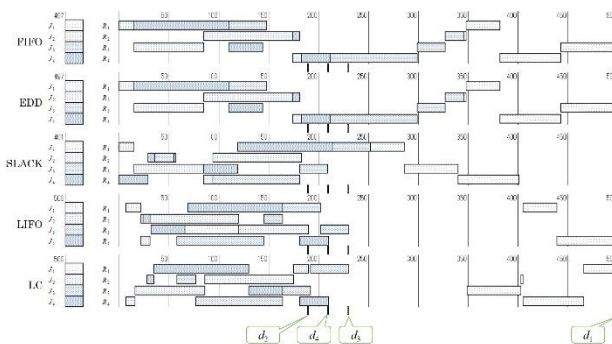


図 5 Case4 の最良値ガントチャート

表 3~6 中の最良納期ずれは提案解法の適用により得られた納期ずれ和の最良値である。また、最大納期ずれと最小納期ずれは最良スケジュールにおける納期ずれの最大値と最小値である。

Case1 については、FIFO が納期ずれ和が最小という結果となった。Case1 は状況としてはメイクスパン最小化とほぼ同じであるため、メイクスパンの最小化に有効なディスパッチングルールが効

果的であったと考えられる。一方、LIFOやLCは得られたスケジュールの最早モジュールの開始時刻が0より前になってしまったため、その修正により納期ずれ和が大きくなったと考えられる。Case2では、納期ずれ和が0のスケジュールを得ることはできなかったが、Case1と比較して余裕のある納期設定であるため、Case1のような大きな修正が発生せず、LIFOとLCが最も有効であるという結果となった。Case3やCase4のように最早モジュールの開始時刻が0より前になることがない納期設定の場合、LIFOとLCは納期ずれ和が0のスケジュールを生成することができている。一方、FIFO、SLACK、EDDはできるだけ早く作業を完了することを目指すため、遅い納期に対して納期ずれが大きくなってしまっている。以上の結果から余裕のある納期が存在する場合はLIFOやLCのようなルールが有効であることが示された。また、LIFOとLCによる結果の違いも観察された。Case4の問題に対して、LCを適用した場合、得られた最良スケジュールにおいては最も納期が遅いソフトウェアのモジュールが近接してスケジュールされていた。これは、納期から逆算して最も遅い時刻に完了できるようにモジュールをスケジュールしているためであると考えられる。逆に、LIFOを適用した場合、最も納期が遅いソフトウェアのモジュールが遠く離れてスケジュールされていた。これは、納期ずれ和が0のスケジュールが得られた時点で、その個体（染色体）より適合度が大きい個体（染色体）が存在しないため、個体群の多様性が失われ、それ以上の進化が起きなかったためと考えられる。

6 おわりに

本研究では、ビジネスの現場におけるスケジューリング、特に、チームによるソフトウェア開発に焦点をあてた。この問題は、ある想定ではオープンショップスケジューリング問題(OSSP)とみなすことができることが示されている[1]。本研究では、現実のソフトウェア開発状況を考慮して、

OSSPにおける目的を納期ずれ和の最小化に変更した問題を考察の対象とした。この納期ずれ和最小化OSSPに対する解法として、計算時間などの実用性の面から遺伝的アルゴリズムに注目した。特に、岩瀬[4]が提案したフローショップスケジューリング問題に対する局所探索法と遺伝的アルゴリズムを併用した手法を納期ずれ和最小化OSSPに適用可能なように修正した解法を提案した。また、本手法を適用する際に使用されるディスパッチングルールとしてLIFO,LCを提案した。提案したルールの有効性を検証するために、LIFO,LCを使用した提案解法とともに、従来のディスパッチングルールFIFO,EDD,SLACKを使用した提案解法をベンチマーク問題に適用した。その結果、納期にまったく余裕がない場合はFIFO,SLACKが有効であるが、それ以外の場合では提案したLIFO,LCが有効であることが示された。

参考文献

- [1] 佐々木直人, 加藤浩介, 松本慎平, 垣内洋介, 山岸秀一: “Satisfiability Modulo Theories (SMT) に基づくソフトウェア開発を想定したビジネススケジューリング”, 日本経営システム学会イノベーション指向データ分析研究部会 2016年度第1回研究会予稿集, pp.15-16 (2017)
- [2] 山本正明: “スケジューリングの展望”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会邦文機関紙, Vol.17, No.6, pp.319-330 (1973)
- [3] <http://mistic.heig-vd.ch/tailard/problems.dir/ordonnancement.dir/ordonnancement.html>, (2018年1月26日)
- [4] 岩瀬弘和: “納期の異なるフローショップ・スケジューリング問題への遺伝的局所探索法の適用”, 東京淑徳大学研究紀要, Vol. 21, pp. 147-158 (2014)

身体表現による無人航空機操作の研究

広島工業大学 樋口 幹紘
広島工業大学 山崎 琢洋
広島工業大学 山岸 秀一

A study of the operation of Unmanned aerial vehicle by body expression

Hiroshima Institute of Technology Mikihiro Higuchi

Hiroshima Institute of Technology Takumi Yamasaki

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

1 研究目的

近年、無人航空機 (UAV) が注目を集めており、空中撮影、農業、防災、貨物輸送、娯楽など、幅広い分野で利用されるようになってきた。UAV の始祖であるケタリング・バグは、第一次世界大戦中の 1918 年にアメリカ陸軍によって開発された。これは、ジャイロスコープにより針路を維持しながら飛行し、エンジンの回転数を計測して、あらかじめ設定された積算回転数に到達するとエンジンが停止し、目標へと落下して搭載した爆弾を爆発させるというものであり、無線による遠隔操縦によって飛行するものではなかった。しかし、現在では、電子技術、通信技術、およびコンピュータの発達により、地球の裏側にある UAV をリアルタイムで操縦することができるようになり、また、条件が揃えば自動操縦も可能となっている。更に、人工知能を用いることにより、完全自律飛行が可能となる UAV の研究開発も進められている。民間においても、UAV の低価格化が進み、数多くの機能を備えた高性能な UAV を、個人で入手することも可能となってきた。これらの UAV は、プロポーショナルコントローラーやジョイスティックなどといった入力機器により操作されることが多い。しかし、これらの機器の使用は熟練を要するため、機器を使わず直感的に操作できる方法があると非常に便利である。例えば、遠隔地にある物体をあたかも近くにあるかのように感じ

ながら、操作などをリアルタイムに行う技術の体系として、レイグジスタンスがある[1]。レイグジスタンスは、物理的な距離を超え、ロボットとオペレータが一体化したような感覚をオペレータに与えつつ、ロボットの制御を可能とする技術である。そこで、本研究では、モーションキャプチャ装置を利用し、身体表現によって UAV を直感的に操作するための手法を提案する。

2 本研究の概要

本研究では、オペレータの身体表現によって UAV の操作を行うシステムを提案し開発する。また、FPV (一人称視点) ゴーグルを用いることで、臨場感を与えることも可能とする。UAV には、Parrot 社が開発・販売している「Parrot Bebop 2」を用いる[2]。Bebop 2 は、フル HD カメラを備えており、撮影した映像を Wi-Fi によって接続された PC、スマートフォン、タブレット端末などに送信することができる。また、画像認識による人物の自動追尾や GPS による追尾機能を持つなど、小型軽量ながらも高性能な UAV である。この機器には開発者向けの SDK が公開されており、PC と無線 LAN で接続してコマンドを送信することにより、機体を操作することが可能となる (図 1 参照)。一方、オペレータの指示を認識するためのモーションキャプチャ装置として、Kinect v1 を用いる[3]。Kinect は、Microsoft 社

によって開発されたモーションキャプチャ・デバイスであり、RGBカメラ、深度センサー、マルチアレイマイクロフォン、および専用の処理回路を装備しており、これらによりマーカ無しで動作を判定することや、高精度で音声を認識することが可能となる（図2参照）。



図1 Parrot Bebop 2

直感的操縦を実現する。ここで用いる FPV ゴーグルは、専用のアプリケーションをインストールしたスマートフォンを装着し、Wi-Fi で UAV と接続して使用するものである。図3に、本研究で使用する FPV ゴーグルを示す。



図3 FPV ゴーグル

また、図4に本研究のシステム構成図を示す。

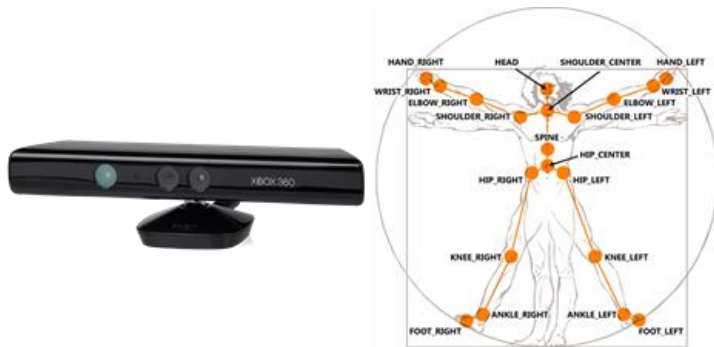


図2 Kinect v1 と取得できる関節の位置情報

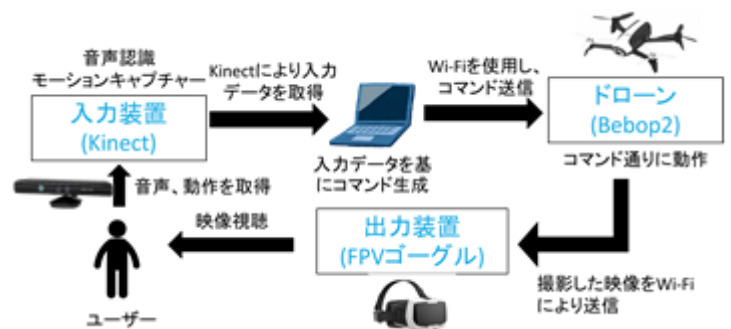


図4 システム構成図

処理の手順としては、まず、Kinectにより人間の骨格を認識し、人体20ヶ所の関節位置の三次元座標（図2参照）を取得する[4]。このうち本研究では、頭部以外の上半身のデータを利用する。このデータをコンピュータで処理し、それぞれ、上昇、下降、前進、後退、右ロール、左ロール、右旋回、左旋回などといった動作コマンドに変換する。例えば、両手の位置が肩より高ければ上昇、腰より低ければ下降のコマンドを生成する。これらのコマンドをWi-Fiを通じてUAVへ送信してUAVを動作させる。更に、オペレータの視点の拡張として、FPVゴーグルを用いる。これにより、UAVに搭載されたカメラ映像を眺めながら、身体表現によってUAVを操縦することを可能とし、

3 実装および検証実験

概要で述べた仕様に基づいてシステム構築を行い、操作性の検証を行った。図5-7に本システムの実行例を示す。図5は、ジェスチャによりUAVの離陸を行っている場面である。両手を肩より高い位置に上げることで、上昇のコマンドが生成されてUAVへと送信され、UAVが上昇動作を行う。また、万が一、Kinectがユーザーを検知できなくなるなどのトラブルが発生した場合には、自動的に緊急着陸が行われるようになっている。更に、コンピュータから緊急コマンドを送信することでも、緊急停止を可能としている。



図5 ジェスチャによる UAV の操縦

図6は、コンピュータ側でオペレータのジェスチャを認識している画面である。

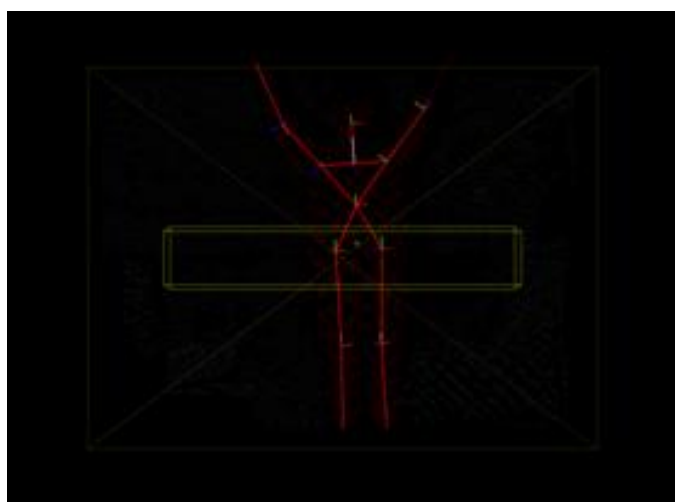


図6 身体動作の認識画面



図7 FPV ゴーグルに表示される映像

Kinect がオペレータの関節の位置を識別し、その動作の情報をコンピュータに取り込む。取り込んだ動作データを UAV の操縦プログラムで処理することで、UAV の操縦コマンドが生成され、UAV を動作させる。図7は、FPV ゴーグルに表示される映像を示す。UAV で撮影した映像を、Wi-Fi を通じてリアルタイムで FPV ゴーグルに表示させる。オペレータは、FPV ゴーグルから見える映像により、UAV の動作を確認しながら操縦を行うことができる。

4 まとめ

本研究では、オペレータの身体表現によって UAV の操作を行うシステムの提案を行った。そして、提案に基づいてシステム開発を行い、実際に UAV を飛行させて検証実験を行った。その結果、FPV ゴーグルを装着して、臨場感の高い状態で、身体表現による UAV の操作を実現できた。今後は、更なる柔軟性を考慮して、音声認識を用いた操作が可能になる機能の実装を検討する予定である。

参考文献

- [1] 舘暲：テレイドジスタンス，日本ロボット学会誌 vol.33, No.4, pp.215-221 (2015).
- [2] Bebop2: Parrot 社 HP (2017.10), <https://www.parrot.com/jp/doron/parrot-bebop-2#parrot-bebop-2>
- [3] Kinect: Windows app development (2017.10), <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/Kinect>
- [4] 河上奏太ほか：Kinect センサーと HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を用いた簡易モーションキャプチャ環境の開発及びバーチャルリアリティへの応用，学長研究奨励費研究成果論文集，9 巻，pp.36-40 (2013).

自転車運動のための VR エクササイズシステムの開発

広島工業大学 遠山祥平, 中村武尊, 松本慎平
福岡工業大学 徳安達士

Developing a VR-Based Bicycle Exercise System

Hiroshima Inst. of Tech. Shohei Tohyama, Takeru Nakamura, Shimpei Matsumoto
Hiroshima University Tatsushi Tokuyasu

1 研究目的

Virtual Reality(以後 VR)や Head Mount Display(以後 HMD)など先端の情報伝達技術を利用することで、共有空間の対照性を損なわない超臨場感を実現できる[1]。情報伝達技術は、スポーツやリハビリテーションの支援に対しては特に有効であると考えられている[2][3]。一方で、運動時、それぞれの情報伝達技術が身体特性及び体力特性にどのような影響を与えるかについては、十分に研究されていない。運動支援の領域で情報技術をより有効に活用するためには、情報伝達技術それぞれを用いた場合の運動に対する効果を明らかにする必要がある。

我々は従来から自転車運動の効率向上に関する研究に取り組んでおり[4]、今回、仮想空間を用いた運動時において運動効率を高めることが可能な情報伝達技術を明らかにしたいと考えている。具体的には、主観として疲労感を取り上げ、それに対する影響を明らかにしたいと考えている。そのために必要なこととして、自転車運動と仮想空間とを連動させる仕組みと、仮想空間コンテンツが必要となる。そこで本研究では、独自に VR エクササイズシステムを開発し、疲労感に対する各種情報伝達技術の差異を調査できるようにする。情報伝達技術として、一般的な大画面モニター、HMD、バックプロジェクションスクリーン(以降、BPS)に着目し、これらを想定した装置を開発する。コンテンツとしては、ゲームエンジン Unity を用いて、VR 空間を構築する。

2 関連研究

VR を用いた運動による健康(医療)機器は、従来から開発され研究されている。商品としては、VirZOOM 社が開発・販売する VR とエルゴメータを合わせた自転車型コントローラ VZ Bike Controller¹をあげることができる。VR と運動に関する研究として、身体的機能に対する効果[5]や、心的効果の客観的評価[2]を行った研究がある。後者では、単調な反復運動に比べヴァーチャルスポーツは心的ストレスが加わりにくいことを明らかにした。文献[3]では、その効果の有効性が評価されている。しかし、これらは単一の VR 投影方法を使用するものであり、複数の VR 投影方法は使用されていない。そのため、BPS などのスクリーン表示の VR や、HMD による VR との効果の違いは明らかにされていない。

3 開発システム

本研究では、ゲームエンジン Unity ver5.4.0b15(64bit)、統合開発環境 Visual Studio 2015、Visual Studio 2017 を使用し、C#言語により VR システムを開発した。また、VR 空間を提供するため、HMD である Oculus Rift DK2 や BPS を使用し、運動器具として竹井社製のエルゴメータ HEALTH GURAD active10 II を研究室で独自改造したものを使用した。エルゴメータのペダルの動きを計測するため加速度センサを使用し、これに

¹ <https://www.virzoom.com/>



図1 開発システムを用いた実験の様子

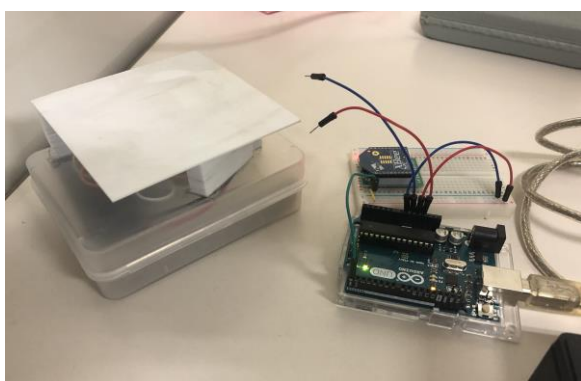


図2 独自に開発したセンサ

より得られたデータを VR 空間に反映できるようにした。開発システムを用いて実験をしている様子を図1に示す。

4 センサ開発

エクササイズの動きを VR 空間へ反映させるため、当初、先行研究で一般的に用いられている小型無線多機能センサ TSND121 や CC2650STK の使用が検討された。しかし、これらの加速度データを Unity にリアルタイムで送信することは技術的に困難であった。また、加速度センサはペダル部分へ装着して使用するため、運動の妨げにならない無線かつ小型軽量であるものが求められた。そこで本研究では、今後の拡張性を考慮し、心拍計や筋電センサなどの拡張が行える Arduino を用いたセンサを独自に製作し使用した(図2)参照)。センサには KXR94-2050 と Arduino Uno を用いた。C/C++言語をベースとした Arduino の独自言語を使用し Arduino IDE 1.8.5 で開発した。無線モジ

ュールとして XBee を使用し、 XCTU v. 6.3.11 にて設定を行った。XBee の通信のサンプリングレート設定は最短に設定し、32ms ごとにデータの送受信を Unity へ行えるようにした。

5 まとめ

本研究は、自転車運動の VR エクササイズシステムを開発した。各種情報伝達技術の差異を明らかにするための基礎を構築した。

謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)17K01707)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 平田圭二, 高田敏弘, 超臨場感を達成するための同室感というアプローチ, 電子情報通信学会誌, Vol. 93, No. 5, pp. 410-414 (2010).
- [2] 岡本みなみ, 田中聡, 和田隆広, 石井明, 仮想環境による運動治療中の生体ストレス反応, 電子情報通信学会誌, Vol. 108, No. 182, pp. 67-70 (2008).
- [3] 澤田一哉, 野村淳二, VR 技術を応用した健康機器の開発, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 8, No. 2, pp. 87-93 (2003).
- [4] T. Tokuyasu, S. Matsumoto, S. Kushizaki and T. Kitawaki, Development of Racing Bicycle Position Control Device and Pedaling Exercise Analysis Software with Web-Based Data Management Function for Improving Cycling Technique, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol.19, Issue 3, pp. 244-250 (2014).
- [5] 田中聡, 和田隆広, VR テニスシステムの運動治療法効果の検証, リハビリテーションエンジニアリング, vol. 22, no. 3, pp. 163-170, 2007.

コードレス HMD を用いた没入的観光アプリケーションの開発

広島工業大学 高橋 朋紀
広島工業大学 井ノ本 裕之
広島工業大学 山岸 秀一

Development of Immersive application for Sightseeing using Cordless HMD

Hiroshima Institute of Technology Tomoki Takahashi

Hiroshima Institute of Technology Hiroyuki Inomoto

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

1 研究目的

スマートフォンなどのタブレット端末の急速な普及に伴い、バーチャルリアリティ (VR) 技術や拡張現実 (AR) 技術といった IT が一般に認知され始め、幅広い分野で活用されるようになってきた。このような技術は 1990 年代から存在していたが、当時は非常に高価で大がかりな設備が必要であったため、表舞台に出てくることはなく普及するまでには至らなかった。しかし、2012 年に Oculus VR 社のヘッドマウントディスプレイ (HMD) 「Oculus Rift」のプロトタイプがリリースされたことにより、急速に普及が始まりコンテンツの制作も進んできた。更に、比較的安価で移動・設置も容易なコードレスタイプの HMD の登場により、VR 技術を扱える分野が益々広がってきている。ところで、東京オリンピックの開催を 2020 年に控える我が国では、かつてのような力強い経済を取り戻すために 2008 年に観光庁を設置するなど、国家体制で観光に力を入れている[1]。その動きを受け、全国で多数の観光向けアプリケーションが誕生している。これらの中には AR 技術を用いたものも多数開発されており、今後もこの流れが続くと考えられる[2, 3]。このような状況を踏まえ、我々はコードレスタイプの HMD を利用して、AR および VR 技術を用いたリアリティの高い近未来的な観光アプリケーションの提案および開発を行った[4]。本研究では、これに VR 空間で

の移動を実現させ、よりリアリティの高いアプリケーションの実現を目指す。

2 本研究の概要

HMD を用いた AR の実現および仮想空間 (VR) の構築のために、次に示す機材と手法を用いる。本システムでは、AR を用いて建造物の外観を再現し、更に VR を用いて建造物の内装を表現する。そして、AR から VR へと切り替える機能を実装することで、これらの世界を自由に行き来できるようになる。また、VR 空間内での移動機能を実装し、アプリケーション使用中の自由度を向上させる。このように、AR と VR の二つの技術を用いることで、時代を遡るような近未来的な観光アプリケーションを実現する。

2. 1 AR および仮想空間 (VR) の構築

AR と VR を実現するにあたり、以下に示す HMD と Android 端末を使用する。AR には任意のマーカを読み取り 3D オブジェクトを表示させるマーカ型 AR を採用し、VR の構築にはコンピュータ上で作成した仮想空間を用いることで、リアリティの高い映像空間を実現する。HMD として Gear VR を使用し、端末は Galaxy S6 を使用する。Gear VR は、Android 端末である Galaxy シリーズを装着することで稼働する。またパススルーカメラという Android 内臓のカメラを使用することができ

るため、AR の実現が可能となる。さらに VR 機器としてのタッチセンサやジャイロセンサなどが利用できるため、コードレスの VR 機器としては非常に高い操作性と性能を持ち合わせている。



(a) Galaxy S6 (b) Gear VR

図 1 利用する機器

2. 2 AR の実現

AR の実現方法は、大きく分けると二種類ある。一つはマーカを読み取り 3D オブジェクトを表示するマーカ型と呼ばれるもので、もう一つは GPS などを利用して AR 表示するマーカレス型と呼ばれるものである。本研究では、正確な位置に 3D オブジェクトを表示させる必要があるため、マーカ型を採用している。Gear VR の機能であるパステルーカメラにより、カメラが起動して周囲の状況が見通せるようになる。この状態で任意のマーカを内蔵カメラで読み取ることで、マーカ上に 3D オブジェクトを表示させ建造物などの AR 表示を実現する。

2. 2. 1 マーカの設定

マーカは任意に設定することが可能なため、自作したものを使用する。マーカを読み取り易さについては、コントラスト比が高く特徴点が多ければ多いほど読み取りやすくなる。そのため、白と黒のみを用いた特徴点の抽出しやすいシンプルなマーカを作成した(図 2 参照)。また、マーカのサイズは任意で変更することができるが、表示される AR の大きさはマーカとは別に指定することができるようにする。



図 2 AR 表示のためのマーカ

2. 2. 2 Vuforia の利用

Vuforia とは、Qualcomm 社が提供する AR 製作用のライブラリである。この機能を利用し、AR の実現を行う。また、AR 空間と VR 空間の両空間については、Unity を用いて構築する。

2. 3 AR 表示と仮想空間 (VR) への切り替え

まず、任意のマーカを読み取ることで AR 表示を行い、その 3D オブジェクト上に AR と VR の切り替えボタンを配置することで、切り替えを可能にする。ここでは、ボタンに数秒間視線を合わせることにより、自動的に表示が切り替わる。また、VR から AR へと戻る際も同様の操作を行う。

2. 4 仮想空間 (VR) の構築

仮想空間 (VR) 内では 360°自在に見渡せるようにする。それを実現するために、仮想空間としてテクスチャを反転させて内面へ投影する天球を用意する。これにテクスチャを貼り付けることによって、360°自在に周囲を見渡すことが可能となる。なお、VR 表示中は周囲の状況が見えず危険なため、必ず椅子に座るなどの静止状態で使用するよう注意喚起する。

2. 5 仮想空間 (VR) 内での移動

Gear VR にはポジショントラッキング機能がないため、VR 空間内ではある 1 点の視点から動くことはできない。そこで本研究では、HMD 右側面にあるセンサを使用する。複数のマテリアルを

用意し、それらに別々の画像を貼り付ける。そして、VR空間内でHMDの右側面センサに触れることで、マテリアルを天球内で切り替える。このような操作を繰り返すことによって、移動したような体感を与えることができる（図3参照）。

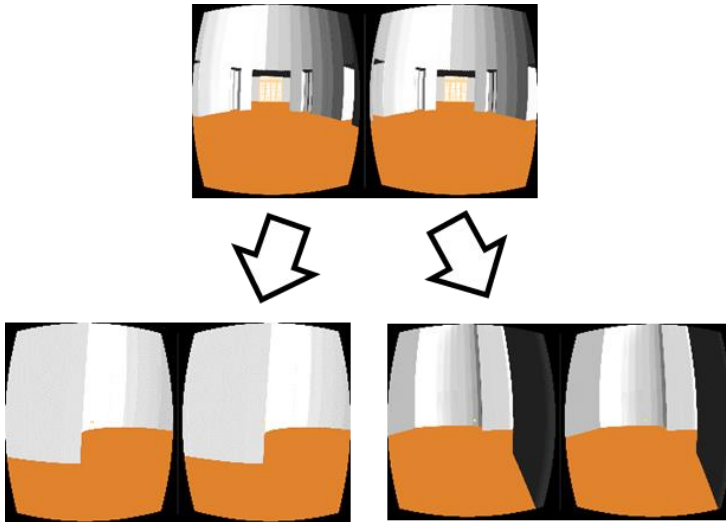


図3 仮想空間（VR）内での移動

3 システムの実装

概要で述べた機材と機能を用いて作成した視聴画面の例とシステムの利用の様子を、それぞれ図4、図5に示す。

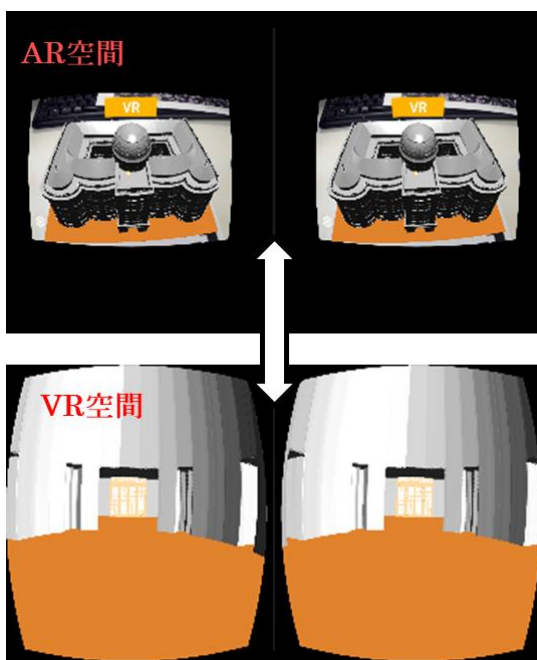


図4 視聴画面



図5 視聴の様子

4 まとめ

コードレスタイプのHMDを利用して、ARおよびVR技術を用いたリアリティの高い近未来的な観光アプリケーションを提案・開発した。HMDを装着したまま内臓カメラを起動し、マーカを読み取ることで、ARの表示やボタン注視によるVRへの切り替を行うことができる。さらに、HMDのセンサを利用し、このセンサに触れることでVRを実現する天球内に張り付けた画像を切り替えて、仮想空間内での移動感覚を実現した。今後は、VR空間内に移動ボタンを設け、これを注視することで仮想空間内を移動できるように開発を進める予定である。

参考文献

- [1] 観光庁：明日の日本を支える観光ビジョン（2016）。
- [2] 角田哲也他：バーチャル飛鳥京：複合現実感による遺跡の復元と観光案内システムへの展開，生産研究，vol.59，no.3（2007）。
- [3] 天目隆平：拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム：平城宮跡ナビ，信学技報，vol.103，no.584，pp.1-6（2004）。
- [4] 井ノ本裕之他：AR/VRを用いたインタラクティブな社会科教材の研究・開発，2016年度JSiSE 学生研究発表会（中国地区），C02，pp.171-172（2017）。

VR 技術を用いた体験型災害避難訓練システムの研究・開発

広島工業大学 沖川 結人

広島工業大学 山岸 秀一

Study and development of an experiential evacuation drill system using VR

Hiroshima Institute of Technology Yuito Okigawa

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

1 研究目的

バーチャルリアリティ (VR) 技術は、近年、エンターテインメント、医療、教育、観光など、幅広い分野で利用されるようになってきた。特に、頭部装着ディスプレイ (HMD) の普及が進み、手軽に利用できるようになってきている。ところで、日本は自然災害が多く、避難時のパニックによる二次的被害も発生している。そこで、適切な避難対策が必要になってくる。これまで、災害時の人間の行動については、主として、過去の災害事例調査、被験者実験、そして、コンピューターシミュレーションにより研究が行われてきた。しかし、過去の災害事例については「データ数が少なく基本的に死者の行動は不明」であり、また、被験者実験については「災害時の環境設定には危険が伴い大規模な構造物を対象とした実験は実施困難」といった欠点があった[1]。そこで、本研究では、HMD を利用した仮想空間での避難訓練を行うことで、安全に、しかも実際の現場により近い状況での訓練を可能とするシステムの開発を目的とする。VR 技術を利用することで臨場感を与えることができ、より没入感のある避難体験を提供することで、防災や減災への効果を発揮できる。これまでにも、VR 技術を用いた避難行動実験は行われてきたが、迷路実験や広域避難行動を対象としたものであり[1, 2]、家屋内避難行動を対象としたものではない。さらに、これらは映像のみの体験や、直立または着席状態でのコントローラ操作による体験である。本研究は、実際に空間内を移動

できる点や空間内のオブジェクトの操作ができる点において、新規性を有した提案となっている。

2 本研究の概要

実空間と相互作用する HMD を用いた仮想空間の構築のために、次に示す機材と手法を利用する。そして、この仮想空間上に災害現場を表現することで、高い臨場感のあるシステムを実現する。さらに映像だけでなく、仮想空間内で実際に行動を起こせることで、実空間での非常時に対しても、より適切な行動が取れるような訓練を行うことができる。

2. 1 仮想空間の構築

VR 機材をコンピュータ上に作成した仮想空間とリンクさせることで、臨場感のある災害現場を表現する。VR 機材には、HMD として HTC VIVE (図 1 参照) を利用する。



図 1 HTC VIVE

HTC VIVE は、コンピュータ上に作成した仮想空間をディスプレイに表示することに加え、ルームスケールにより利用者の位置や頭の向き・傾きを検知することができる。また、付属のワイヤレスコントローラは、SteamVR(TM)トラッキングを用いており、実空間における利用者の動きを検知することができる。これらを用いることで、仮想空間内を自由に探索・操作することが可能となり、直感的な制御とリアルな触覚フィードバックを提供できる。

2. 2 災害時の避難行動

仮想空間上での避難行動の模擬的検証を、次に示す空間モデル及び災害規模モデルの設定の下で行う。

2. 2. 1 空間モデルの設定

空間モデルは、一般的な一人暮らしの間取り(1K: 27.4m²) [3]を設定し、その中に家具を配置する。

2. 2. 2 災害規模モデルの設定

災害規模モデルとして、想定震度は気象庁震度階級のうち、南海トラフ地震[4]から想定される震度6弱を設定する。また、地震発生後は小規模火災が起こるものとする。

2. 2. 3 地震の設定

地震は部屋全体を揺らすことで表現する。気象庁震度階級より、「立っていることが困難になる」「固定していない家具の大半が移動し倒れるものもある」といった影響のある震度6弱を実装する[5]。

2. 3 避難者モデルの設定

避難者モデルは避難口の位置を認知していることを前提として、最適手段を選びながら避難口に向かう。なお、避難者モデルは1名とする。本研究では、この避難者モデルを被験者が実際に体験できる。

2. 4 オブジェクトの設定

システム内に配置されているオブジェクトには、可動オブジェクトと非可動オブジェクトを設定する。

2. 4. 1 可動オブジェクト

避難者が持ち上げて動かすことができるオブジェクトとして、可動オブジェクトを設定する。これは、ワイヤレスコントローラを用いて避難者が自由に運ぶことができる。

2. 4. 2 非可動オブジェクト

避難者が動かすことができないオブジェクトとして、非可動オブジェクトを設定する。これは避難者が自由に運ぶことができず、通路などを塞ぐことがある。

2. 5 実空間から仮想空間への相互作用

被験者はHMDを装着しているため、実空間での視界が遮られる。また、外部入力を複雑にすると没入感が大幅に損なわれる。そこで、入力装置にはHTC VIVEとワイヤレスコントローラのルームスケールを利用する。被験者はこれらの入力装置を用いて仮想空間と相互作用しながら移動することで、避難訓練を体験できる。

3 システムの実装

概要で述べた機材と機能を用いて、システムの実装を行った。実装には、統合開発環境ゲームエンジンのUnityを使用した。

3. 1 視野の実装

システム内には煙などが充満し、視野の確保には、最適行動が必要になる。

3. 2 火災の実装

地震発生後に起こる火災は、消火活動の影響を受けず、システム内において消火またはそれに準ずる行為は考慮しないものとする。本研究では、

火災は煙など（図2参照）による避難者の避難行動の制限のみに作用する。



図2 火災と煙の様子

3.3 オブジェクトの実装

可動オブジェクトとして、本、皿、テレビ、花瓶などを実装する。また、非可動オブジェクトとして、クローゼット、ベッド、流し台、テレビ台などを実装する（図3参照）。



図3 オブジェクトの例

3.4 地震の実装

震度6弱の実装により、固定していない家具系オブジェクトの大半が移動し、その一部が倒れる（図4参照）。



図4 地震直後の空間

図5に、本システムによる避難訓練の実施の様子を示す。



図5 避難訓練実施の様子

4 まとめ

HMD とルームスケールを利用した避難訓練システムを提案し、現実に近い状況での避難訓練が体験できるシステムの開発を行った。現在は、震度6弱相当の本震後の避難体験ができるが、今後は、他の震度や避難行動中の余震の体験もできるようにして、より現実に近い避難行動が行えるように改良する予定である。

参考文献

- [1] 目黒公郎・芳賀保則・山崎文雄・片山恒雄：バーチャルリアリティ（VR）を用いた避難行動の基礎解析，生産研究，47巻，11号，pp.44-47（1995）。
- [2] 小林大吉・加藤孝明・河原大：VR（仮想現実）を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性の予備的検討，生産研究，68巻，4号，pp.51-54（2016）。
- [3] 株式会社リクルート住まいカンパニー：20代社会人シングル男女の一人暮らしデータ（2009）。
- [4] 内閣府：南海トラフ地震防災対策推進基本計画（2014）。
- [5] 気象庁：震度階級関連解説表 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/kaisetsu.html>

地域の商業の活性化を目的とした Web サイト改善に関する研究

広島工業大学 上松智史, 大杉将輝, 松本慎平, 山岸秀一

A Study on the Improvement of Web Site for Activating Regional Commerce

Hiroshima Inst. of Tech. Satoshi Uematsu, Masaki Osugi, Shimpei Matsumoto, Shuichi Yamagishi

1 研究目的

昨今、ビジネスを目的とした Web サイトを運営する中で、より多くの訪問者とページビューを獲得し、クリック率や購買率などのコンバージョン率を高める工夫が不可欠とされている。Web サイト運営の経営目的を達成するために、検索エンジン経由の訪問者数、再訪者数、1 人あたりのページビュー、1 人あたりのページ滞在時間などといった情報を常に量的に把握し、時々刻々と変化する状況を的確に踏まえた上で、外的環境に合った最適な改善策を立案し適用しなければならない。

本研究では、「牡蠣くるみ」¹を事例とし、地域の特産物の PR を主目的とした Web サイト運営に関わりながら、Web サイト訪問者に地域の魅力を的確に伝えることができ、集客の向上に繋がる効果的な情報発信手法を構築することを目的とする。Web サイトは地域資源の認知度向上に有用であるため、地域の商工業の活性化にとって Web サイトの果たす役割は大きい。しかし、地域の Web サイトの多くは積極的に情報を発信してはいるものの、十分に活用しきれていない。高価なコストを掛けず、地域の人達の手で運用でき、商工業の売り上げ向上に効果的に働きかけることが可能な Web サイト運用事例を示すことは、地域活性化に向けて有益な知見になると考えられる。

2 牡蠣くるみ

「牡蠣くるみ」とは、廿日市市で養殖されている牡蠣を紹介する Web サイトである。主に、廿日

市や宮島に観光などで訪問した地域外の人に対して、廿日市市産の牡蠣に関する情報や飲食店を発信することを目的としている。しかし、現状ではアクセスした閲覧者は欲しい情報を簡単に得ることができないと考えられる。その問題点を以下にあげる。

- 全ての店舗情報が一覧で表示されるのみである。現在位置から店舗までの距離経路、メニューなど、店舗の詳細を調べるためには、各店舗のリンクをたどる必要がある。
- 利用者が不要とする情報、例えば、閲覧者の状況、閲覧者の嗜好に合わない情報も一覧に表示されるため、閲覧者自身の手で情報の絞り込み作業が必要となる。

以上の課題解決に向け、閲覧者の属性に近い順に店舗を上から表示するなどのリコメンデーション機能や、情報検索機能、絞り込み機能の実装が有効であると考えられる。

3 本研究の方針

先行研究[1]-[3]では、頻出パターンマイニングなど機械学習アルゴリズムを用いて、アクセスログからパターンやルールの自動抽出を実現させている。機械学習は、コンテンツの動的制御に有効であると考えられる。よって、機械学習によるコンテンツを動的制御可能な仕組みの実装を最終目標として掲げ、このための基盤構築を本研究の課題とする。本研究では、スマートフォン対応のレスポンシブデザイン、検索機能の実装

¹ <http://www.kakikurumi.com/>

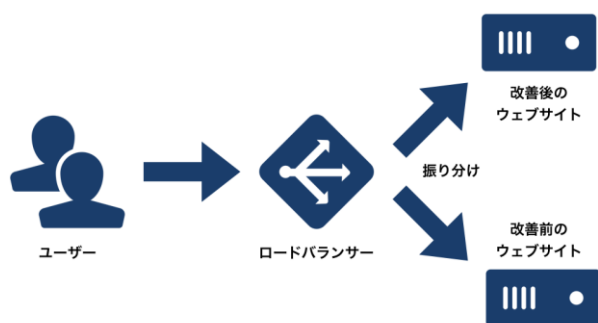


図1 リバースプロキシによるABテストの方法

を基盤構築として取り組む。提案法の有効性を明らかにするため、本研究では、滞在時間をA/Bテストで評価し、A/Bテストをリバースプロキシで実現する(図1参照)。A/Bテストにより、改善前と改善後のサイトを平等の条件で比較できると考えている。閲覧者がWebサイトに訪問する際、リバースプロキシを経由するように設計する。リバースプロキシにより、改善前と改善後(提案法を組み入れたサイト)に無作為に振り分けられる。改善前と改善後のアクセスログからサイト滞在時間を計測し、実験後アクセスログを分析・比較することで、改善後の有効性を明らかにする。

4 現状分析

まず、従来のWebサイトを対象として、2017年10月に広島県内の学生21人を被験者としユーザビリティテストを行った。ユーザビリティテストの項目は、平田の評価方法[4]を参考にしたWebサイトのユーザビリティを問う15問と自由記述を含む全22問とした。平等な条件でテストを実施するため、単一端末のiOSシミュレータを用いた。ユーザビリティ評価を得るため、本研究では、牡蠣くるみを用いて指定の飲食店の情報を探す問題を被験者に課した。問題は、「あなたは今、宮島口駅にいます。ここから直線距離で一番近くのお店の焼き牡蠣で、一番安いものの価格は何でしょうか。また、何が目印で書かれているのでしょうか。」といったものである。これは、土地勘のない利用者が、宮島口駅でスマートフォンを用いて飲食店検索を行うことを想定したものである。制

限時間を1分として牡蠣くるみを操作し、実施後、6段階のリッカート尺度により評価を得た。

実験の結果、答えにたどり着いた被験者は一人もいなかった。15項目の平均値は2.91であったが、2つの項目「手がかりなど容易に情報を入手することができた」では2.00、「情報を探するために与えられた時間は適切だった」では1.81と有意(t検定、両側、 $p<0.01$)に低かった。以上から、手がかりとした情報を短時間で容易に入手可能なコンテンツ配置と、それを実現するレスポンシブデザインの設計・実装が有効であると考えられる。

5 結論

本研究では、「牡蠣くるみ」を事例として取り上げ、地域の商工業の活性化に効果的に働きかけることが可能なWebサイト構築に取り組んだ。

謝辞

本研究は、廿日市商工会議所の支援を受けて実施した。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 本吉夏樹, 朝日弓未, 山口俊和, アクセスログを用いたウェブサイト改善の提案: コンバージョン率向上のためのページ閲覧モデル作成, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 48-49, 2007.
- [2] 三原宏一朗, 寺邊正大, 橋本和夫, ページ閲覧時間を考慮したWebログマイニング手法の提案, 情報処理学会研究報告, Vol. 2007, No. 67, pp. 39-44, 2007.
- [3] 羽室行信, 中西正雄, 山本昭二, 統合化顕在パターン判別モデルによるWebアクセスログデータの分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, Vol. 53, No2, pp. 75-84, 2008.
- [4] 平田一郎, ユーザインタフェースの簡易な評価方法に関する研究, 兵庫県立工業技術センター研究報告書, 第20号, pp. 57, 2011.

360 度パノラマ動画像の複数人での視聴方法の研究

広島工業大学 岡本 崇寛
広島工業大学 谷口 拓海
広島工業大学 山岸 秀一

A study of viewing method of 360° panoramic video by multiple people

Hiroshima Institute of Technology Takahiro Okamoto

Hiroshima Institute of Technology Takumi Taniguchi

Hiroshima Institute of Technology Shuichi Yamagishi

1 研究目的

近年、バーチャルリアリティ (VR) 技術が大きな注目を集めている。以前は VR 機材が高価であり移動や設置も容易ではなかったため、個人での利用は困難であった。しかし、代表的な VR 機材である頭部装着ディスプレイ (HMD) の普及が進み、比較的安価になったことから、個人での入手も容易になってきた。それに伴い、HMD を用いて 360 度パノラマ映像の表示を実現する技術が、スポーツ、エンターテインメント、観光など様々な分野で活用されるようになってきた[1-3]。また、医療現場や災害現場等の特殊な場面での利用も進んでいる。そこで我々は、VR 技術の中でも HMD が持つ全方位 (360 度) を見渡せるヘッドトラッキング機能を活用し、様々な風景を 360 度カメラで撮影し、HMD を通して複数人での視聴を可能にする手法を提案した[4-6]。ここでは、実際の風景を撮影して利用するため、現地を訪れたような臨場感のある映像を表示することができ、二次元映像よりも多くの視覚情報を提供することが期待できる。さらに、ネットワークを通して複数人で視覚情報を共有できる機能を持たせることで、一度に得ることのできる情報量が増大する。本研究では、このシステムで表示できる映像コンテンツを追加すると共に、ライブストリーミング機能を実装することでリアルタイムでの映像表示を可能にしたので報告する。

2 研究の概要

VR 空間を構築するために、次に示す機材と手法を用いる。そして、構築された VR 空間上に実際の風景を 360 度のパノラマ映像として表示させ、ネットワークを利用して複数人で映像を共有させることで、高い臨場感を持って映像を視聴できるシステムとして実現する。さらに、ライブストリーミング機能の実装により、リアルタイム映像を複数人で共有することが可能になる。

2. 1 VR 空間の構築

360 度視聴可能な VR 空間を実現するために、ライブストリーミング機能を持つ 360 度カメラである RICOH THETA S と、ヘッドトラッキング機能を有する HMD である Oculus Rift を利用する。これらの機器を利用することで、作成した VR 空間を表示することが可能になり、360 度の映像を視聴できるようになる。



(a) RICOH THETA S



(b) Oculus Rift

図 1 利用機材

2. 2 360 度映像の HMD 対応

360 度カメラで実際の風景の撮影を行った後、その映像を統合開発環境である Unity というソフトウェアを用いて、HMD で視聴できるように対応させる。本研究では、VR 空間上に球体の 3D オブジェクトを作成し、その球体の内側に映像を貼り付けることにより、360 度の映像視聴が可能になる、そして、この映像データを HMD に送ることで、臨場感のある映像を視聴することができるようになる。

2. 3 映像の共有 (Unity Multiplayer)

360 度映像を複数人で共有するために、Unity Multiplayer と呼ばれる Unity の仕組みを利用する。これは、ユーザがサーバとの通信を行うことで、ユーザ同士のマッチングを行うというネットワーク機能である。この機能を用いることにより、360 度映像は HMD を通して最大 20 人で同時視聴することができるようになる。

2. 4 ウェブブラウザ上で動作する環境の構築

Unity Personal の Unity Multiplayer では、最大接続人数に制限があるため、より多人数でのライブストリーミング映像の視聴を実現するために、さらにウェブブラウザ上で動作するように開発を行う。

2. 4. 1 ライブストリーミング機能の実装

ウェブブラウザ上でライブストリーミング映像を視聴するために、ウェブブラウザ上で動作し、かつ HMD 表示に対応しているフレームワークである A-frame を利用する。

2. 4. 2 360 度映像の実現

RICOH THETA S でのライブストリーミングでは、カメラレンズの前方と後方の映像が、それぞれ出力される(図 2 参照)。これを Unity と A-frame で用意した球体のマテリアルに、それぞれ貼り付けることで 360 度映像を実現する。

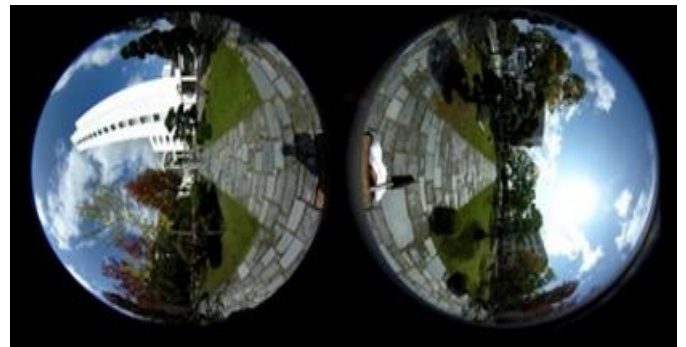


図 2 RICOH THETA S から出力されるライブ映像

2. 5 映像の共有 (Apache HTTP Server)

360 度映像を同時視聴人数の制限なく共有するために、オープンソース・ソフトウェアである Apache HTTP Server (以下「Apache」という)を利用する。これは、Web サーバソフトウェアであり、PC をサーバとして使用することができ、これにより 360 度映像を、ネットワークを通して複数人で共有することが可能になる。

2. 5. 1 Apache のネットワーク概念

本研究で利用する Apache は、PC をサーバとして使用し、その他のクライアントの PC とネットワークを介して通信を行うことで、サーバ側の PC のウェブブラウザ画面を共有できるという機能を有している(図 3 参照)。

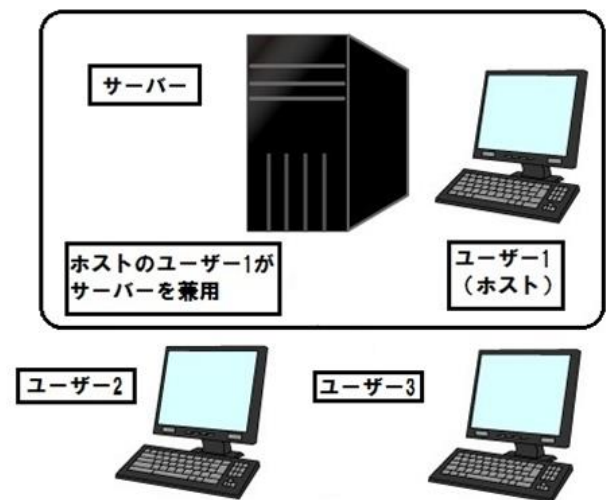


図 3 ネットワークを介した映像共有の概念図

この機能を利用して、複数のユーザ間で 360

度映像を共有し、HMDを通して視聴する。本研究では、ホストとなったユーザがサーバを兼用することで、これを実現し、ユーザとサーバは常に通信を行うことで同期を取っていく。

2.5.2 ウェブブラウザ上での360度映像表示

A-frameを用いて作成した360度映像を、Apacheで用意したサーバを通してウェブブラウザ上に表示する。そして、ウェブブラウザに表示された映像(静止画および動画)は、ネットワークを通して複数人で視聴できるようになる。

3 システムの実装

前章の「研究の概要」で述べた機材と機能を用いて映像共有システムの構築を行い、HMDを用いたパノラマ映像視聴システムの開発を行った。さらに、ウェブブラウザ上でのライブストリーミング映像視聴の実装を行った。図4に、作製した映像共有システムの利用の様子と視聴画面の例を示す。

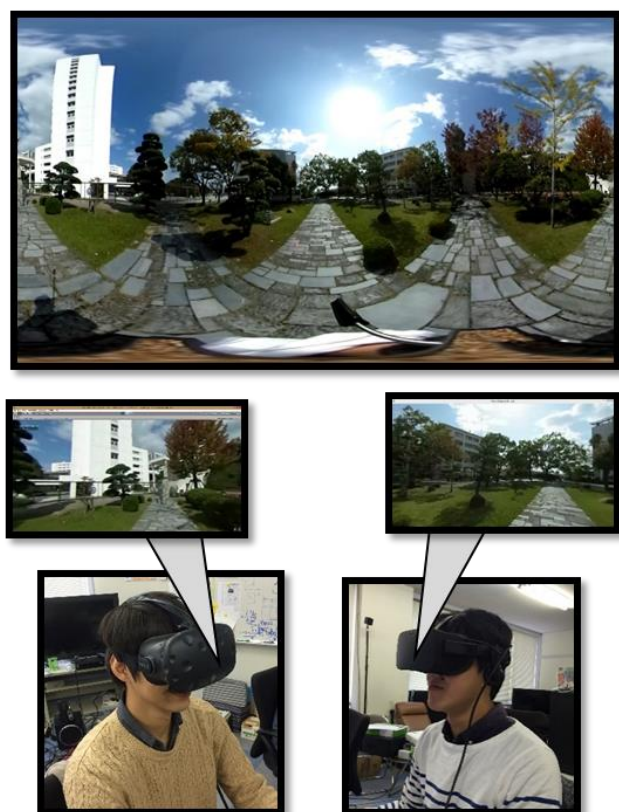


図4 システム利用の様子と視聴画面の例

二人のユーザが同一の360度映像を共有し、各人が任意の方向の風景を視聴することが可能となる。

4 まとめ

HMDを利用して、360度映像の複数人での視聴が可能な映像共有システムを提案し、そのプロトタイプモデルを作成した。また、ウェブブラウザ上で動作するライブストリーミング映像を、自身のPC画面を通して視聴できるプロトタイプモデルの作成も行った。今後は、ライブストリーミング映像のネットワークを利用した複数人でのHMDを用いた視聴を可能にし、リアルタイムに複数人で映像の視聴が共有できるように開発を進める予定である。

参考文献

- [1] 藤原佑歌子 他:パノラマ画像および動画を用いた観光システムの提案, 2014年度情報処理学会関西支部 支部大会 (2014).
- [2] 松本直人:災害コミュニケーションと視覚情報の共有, 情報処理学会研究報告 (IPSJ SIG Technical Report) Vol.2013-IOT-23 No.12013.9.27 (2013).
- [3] 和田和美:360度全方位動画コンテンツ作成と再生配信及びアプリケーションの模索, 静岡文化芸術大学研究紀要 VOL.14 (2013).
- [4] 中川和也 他:全方位映像を用いた災害現場における視覚情報の共有方法の研究, 第21回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集, pp.11-12 (2016).
- [5] 谷口拓海 他:全方位映像を用いた視覚情報の共有方法の研究, 2016年度JSiSE学生研究発表会(中国地区), C02, pp.167-168 (2017).
- [6] 谷口拓海 他:360度パノラマ動画の複数人での視聴方法の研究, 第22回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会講演論文集, pp.9-10 (2017).

対話型 bot を用いた大学生のコーチングに関する研究

広島工業大学 関涼佑, 木野本敦士, 松本慎平
広島大学 佐々木宏

A Study on Coaching for Colledge Students with Interactive Bot

Hiroshima Inst. of Tech. RyoSuke Seki, Atsushi Kinomoto, Shimpei Matsumoto
Hiroshima University Hiroshi Sasaki

1 研究目的

昨今、労働需要が増大しているにも関わらず失業率が低下しないという現象がいくつかの国で見られ、日本もその例外ではない[1]。このような現象が発生する要因として、労働者と企業間の雇用ミスマッチ、それによる新規労働者の早期離職がある[2]。日本では初職の重要性は非常に高いことから、新卒対象者に対する支援が特に重要であると考えられる。雇用のミスマッチを解決する糸口としては、たとえば、新卒対象者に自己理解・自己発見の機会を促し、自分の適性を自覚させることが有効ではないかと考えられる。

個人がキャリアを選択する際、自分にとって最も大切な価値観や欲求、動機、能力などを明確にするためのキャリア理論として、キャリア・アンカーと呼ばれるものがある[3]。キャリア・アンカーにより、自己理解や自己発展の有効な手助けになると考えられる。しかしながら、キャリア・アンカーは決められた質問項目に順に回答するだけであるので、自分自身の真の内面と向き合った上で導き出された解かどうかの確証は十分ではない。一方で、自分自身の内面に徹底的に向き合わせ、自己一致を促す問いかけの技法としてコーチングがある[4]。コーチングの技法に基づいて自己理解を促すことは有効であると考えられるが、現在のところ、キャリア・アンカーのように学術的に確立されていない。その理由は、コーチングは未だ熟練者の経験と勘に強く依存しており、十分にシステム化されていない点にあると考えられる。し

たがって、コーチングの専門家の知識を形式化し、人手に頼らず手軽にコーチングを受けられるシステム構築は、意義のある取り組みであると考えられる。とりわけ、それにより自己理解を促す仕組みがあれば、新卒対象者のミスマッチ解消に有効であると考えられる。そこで本研究では、学習コーチングの専門家の問いかけの基本ルール[4]に基づき、キャリア・アンカーの質問を発話可能な Bot エージェントを提案し、それを実装するための方法について検討することを目的とする。

2 関連技術・先行研究

2.1 関連技術

本研究のベースとなる技術として、コーチングにより目標・夢の内発的動機付けを促すための教育プラットフォーム「Coach For ALL¹(以降、CFA)」がある。CFA は中学高校生を対象とし、人工知能により自動コーチングと学生の課題発見能力等の向上を目的とした Web システムである。CFA は、興味関心事から学問への動機付けやキャリア形成を見通して、学習生活を指南する仕組みである。本研究では、CFA の仕組みを大学生向けに活用し自己理解を促すことで、新卒対象者の支援、ひいては、雇用のミスマッチの解決に貢献できると考えた。なお、本研究のシステムは、コーチングに基づき対話型 bot を開発し、それにより大学生の自己発見・自己理解を支援することを目

¹ <https://coachforall.co.jp/>

的としており、CFA の新規性を活用しつつ、CFA との差別化を図っている。

2. 2 コーチング

コーチングは、現代の加速度的に変化する社会に対応するための新しい教育法であると言われている[5]。従来の教育であるティーチングの徒弟制度のような人間関係では、学習者の教師からの一方向的な情報に強く依存してしまうという欠陥を抱えている。コーチングは、対等もしくは支援者の立場としての教育法であり、教師と生徒は情報の収集という点で全く同じ出発点に立って行われる。そのゆえ、生徒は教師に依存することなく、互いに高いレベルの知識を得ることができると言われている[5]。

本研究では、「非タスク型指向会話システム」を採用し、利用者と bot が会話する際のコーチングを実現する。一般的な対話型 bot の場合、学習者に質問された際にその質問の答えを返すだけの「タスク型指向会話システム」である。一方で、「非タスク型指向会話システム」では、質問に答えるだけでなく、逆になぜその答えを出したかを具体的に聞き出し、学習者自身の答えをより深く引き出すことを目指している。このことで、より深く自己理解を促すことができると考える[6]。

3 提案

大学生のキャリア設計支援を行う定型文 bot を開発し、一般的な学習方法と比較して、その有効性を明らかにすることが本研究の課題となる。本研究では、キャリア・アンカーの質問をベースとして、非タスク型指向会話システムによる対話型 bot を開発する。指導者エージェントとして、社会活動に対する意欲を刺激しインタラクティブな指導を行う MMDAgent を利用することで、利用者が長期間利用し続けられるよう対話継続欲求を高めつつ、自己発見の向上を試みる。

事前試験の結果に基づき被験者を統制群と実験群の 2 群に分け、一般的な方法と比較することで提案法の有効性を示す。一般的な方法である統制

群は、キャリア・アンカーによる適性診断とする。実験群に用いる対話型 bot は、NET Framework 4.6, Microsoft Bot Builder v3.9, Visual Studio 2017, Bot Framework Emulator, MMDAgent で開発し、開発言語は C# を用いることとする。発話内容は、キャリア設計支援を目的としたキャリア・アンカーの方法を踏襲した上で佐々木の技法[4]に従うものとする。MMDAgent は指導者エージェントとして利用し、発話専用の媒体として用いる。利用者からの入力は、テキスト形式で行われる。利用者は、この画面で bot と対話を行いながら質問に順に答えていき、質問終了後、利用者の適正を回答する。

5 結論

本研究では、CFA のシステムを大学生の自己発見・自己分析に利用することに着眼し、大学生を対象としたコーチングによるキャリア設計支援を行う定型文 bot を提案した。

謝辞

本研究は、株式会社 Coach For ALL の支援を受けて実施した。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 中島弘至, 就職ミスマッチの構造的要因 : 就活ルールにみる不公平, 関西大学高等教育研究, 7, pp. 91-103 (2016).
- [2] 川田恵介, 佐々木勝, 雇用ミスマッチの概念の整理, 日本労働研究雑誌(2012)
- [3] エドガーシャイン著, 金井壽宏訳, キャリア・アンカー 自分のほんとうの価値を発見しよう-, 白桃書房 (2003).
- [4] 佐々木宏, 「自分らしさ」って何だろう一個性を伸ばす, 国土社 (2009).
- [5] 俵尚申, コーチングにおける動機づけについての一考察, 嘉悦大学 (2001)
- [6] 藤倉将平, 小川義人, 菊池英明, 非タスク指向対話システムにおけるユーモア応答生成手法, 早稲田大学人間科学学術院, (2015)

ソースコード読解学習のための視線分析に関する研究

広島工業大学 平野拓真, 伊豆田夏帆, 松本慎平
広島大学 花房亮, 林雄介, 平嶋宗

A Study on Eye Tracking for Source Code Reading-Based Learning

Hiroshima Inst. of Tech. Takuma Hirano, Kaho Izuta, Shimpei Matsumoto
Hiroshima University Ryo Hanafusa, Yusuke Hayashi, Tsukasa Hirashima

1 研究目的

プログラミング学習者の認知資源配分を容易にするため、フレーム及び学習活動パターンを制限した学習課題の設計及び開発が進められている。その中のひとつに、ソースコード読解に基づいたプログラミング学習システム(以降、読解学習システム)がある[1]。これは、プログラムを書いて実行するという一般的なコーディング演習と併用して用いるものであり、プログラムに慣れること、効率的にプログラムを読むようになること(適切にスライシングできるようになること)、命令を確実に憶えることを目標とした学習である。読解力は、最も基本的なスキルであり、かつ、読解は単純で取り組みやすい学習である。よって、読解学習は、プログラミングを苦手とする学習者のひとつの支援法として有効であると考えられる。

本研究では、プログラミングを苦手とする学習者がそのスキルを十分に獲得できていない原因のひとつとして、読解の際うまくスライシングできていないことにあると考えている。非本質的な箇所の読解が余計な認知負荷を生み出し、その結果、円滑な学習を阻害していると考えている。よって、データ依存関係を的確に、かつ効率良く把握することを狙いとした学習は、プログラミングを苦手とする学習者にとって効果的であると考えられる。そこで本研究では、プログラミングを不得意とする学習者がうまくスライシングできていないという仮説を視線分析から明らかにすることで、ソースコード読解学習の意義を明らかにする。

2 スライシング

プログラムスライシングは、プログラム中の文間の依存関係に注目し、特定の文と依存関係のある文の集合(プログラムスライス)を抽出する技法であり、バグの存在箇所を絞り込むために利用される[2]。プログラムスライシングの支援は、効率的なデバッグ作業を実現できると報告されている[3]。よって、プログラムをうまく読む力は、的確にスライシングする力と等価であると考えられる。「要領良さ」とは、力を入れるべきではない点に対して極力手を抜く技能と捉えることができるが、ソースコード読解における「要領の良さ」はスライシング力であると考えられる。適切にスライシングできれば、既存ソースを引用する場合やデバッグ作業をする場合において作業を効率良く進めることができ、結果的に非本質的認知負荷が減り、円滑な学習に繋がると考えられる。

3 視線分析

プログラミングを不得意とする学習者はうまくスライシングできていないという仮説の妥当性を明らかにする。本研究では、プログラミング言語自体が持つ特性として内的構造にのみ注目する。そして、読解力はデータ依存関係に沿って読む力と関係があることを視線運動から明らかにする。実験では、プログラミング初学者である大学1年生17人を被験者とした。実験では、まず、被験者に対して求めて欲しい変数を示した後、定数部分を隠したソースコードを10秒間提示した。こ

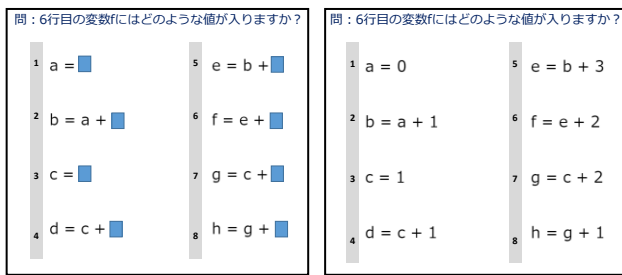


図1 視線分析実験の課題

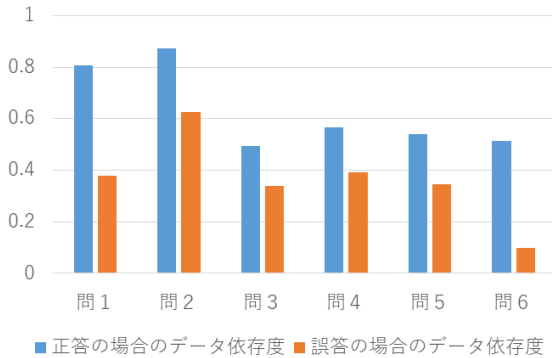


図2 実験結果

れをソースコード全体と構造を把握させる第1段階の課題とした(図1, 左図参照). 次に, 第1段階の定数部分を開示し, 求められた変数の値を15秒以内に回答する第2段階の課題を与えた(図1, 右図参照). なお, 余計な算術的負荷がかからないようにするため, 取り扱う数字は1桁の簡単なものとした.

実験の結果を図2に示す. ここで, データ依存度とは, データ依存の流れに沿ってソースコードを読んでいた割合を示している. この値が低い場合, 変数を求める上で関係のない行を見ていたことを表し, 逆の場合, 答えを出す上で必要な行のみを集中的に見ていた(効率よくスライシングできていた)ということの意味する. 図2から, 正答者は誤答者と比べてデータ依存関係に沿って読解していたことが明らかとなった. この結果から, プログラムソースの内的構造を適切に把握し目的に応じて効率良く読解すること, すなわちうまくスライシングすることは, プログラムの内容を正しく理解する力と関係していると考えられる. とりわけこの結果は, スライシング力の獲得を目的としたソースコード読解学習がプログラミングを不

得意とする学習者の支援に有用であることを示唆したものと考えられる.

5 結論

本研究では, プログラミングを不得意とする学習者を支援する方法として読解学習に着目し, スライシング力の獲得を目的とした学習支援法を検討した. 具体的には, ソースを正しく読解できていない学習者は適切にスライシングできていないということを視線分析から明らかにした.

本研究の知見を踏まえると, 読解学習は, 特にスライシング力獲得に有用であると考えられる. スライシング技能を身に付け「要領よく」ソースコードを読解できるようになることで, より本質的学習に認知資源を配分でき, 結果として, 従来よりも効率的な知識獲得に繋がると考えられる.

謝辞

本研究は, 独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(C)16K01147, 17K01164)の助成を受けて実施した成果の一部である. ここに記して謝意を表します.

参考文献

- [1] K. Okimoto, S. Matsumoto, S. Yamagishi, T. Kashima, Developing a source code reading tutorial system and analyzing its learning log data with multiple classification analysis, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol. 22, Issue 2, pp 227-237 (2017)
- [2] M. Weiser, Programmers Use Slices When Debugging, Communications of the ACM, Vol. 25, No. 7, pp. 446-452 (1982).
- [3] 西松顯, 西江圭介, 楠本真二, 井上克郎, フォールト位置特定におけるプログラムスライスの実験的評価, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 82, No. 11, pp. 1336-1344 (1999).